

Misión CubeSat FS2017: Desarrollo de Software para una Misión Satelital Universitaria

Ezequiel González¹, Pablo Soligo², Eduardo Sufán, Emmanuel Arias, Ricardo Barbieri, Pablo Estrada, Alfonso Montilla, José Robin, Javier Uranga, M. Cecilia Valenti y Elbio Zapata

Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE)
Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM)

⁽¹⁾ ezequielg@alumno.unlam.edu.ar

⁽²⁾ psoligo@unlam.edu.ar

RESUMEN

Siguiendo los lineamientos establecidos en el Plan Espacial Nacional [1], la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) ha creado la Unidad de Formación Superior (UFS) para capacitar recursos humanos de alto nivel en ciencia y tecnologías espaciales, a fin de satisfacer las necesidades de las instituciones/empresas científico-tecnológicas argentinas. En asociación con varias universidades nacionales, la UFS ha implementado nuevos programas de maestría en diferentes áreas tecnológicas que cubren las especialidades de un sistema espacial. En ese contexto, el objetivo primario de la misión FS2017 (*Formador Satelital 2017*) es proveer a los maestrandos de la UFS entrenamiento práctico en los aspectos técnicos y programáticos de una misión espacial. Este trabajo presenta un resumen de la implementación del software (SW) de la misión, dividido en 2 segmentos: SW de tierra y SW de vuelo. Se abordan conceptos generales de la misión, el enfoque de management, la arquitectura y las características técnicas de la implementación.

Palabras Clave: Ingeniería de SW, Desarrollo de SW, CubeSats, SW para misiones espaciales, Operaciones de misiones espaciales, Proyectos espaciales universitarios.

CONTEXTO

CONAE, en asociación con tres universidades nacionales -Universidad Nacional de Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional (Facultades Regionales Córdoba y Mendoza) y Universidad Nacional de La Matanza-, ha implementado 4 nuevos programas de Maestría: en Aplicaciones

de Información Espacial (MAIE), en Tecnología Satelital (MTS), en Instrumentos Satelitales (MIS) y en Desarrollos Informáticos de Aplicación Espacial (MDIAE). La misión FS2017 es un desarrollo conjunto de las 4 maestrías de la UFS, dependiente de la CONAE, en asociación con sus socios académicos. Dicha misión se compone de dos proyectos [2]: el que está siendo realizado por las cohortes 2015-2017, incluyendo únicamente las fases A y B, y la continuación del proyecto FS2017 (desde la Fase C hasta el decomisionado del satélite) a ser realizado por futuras cohortes (figura 1).

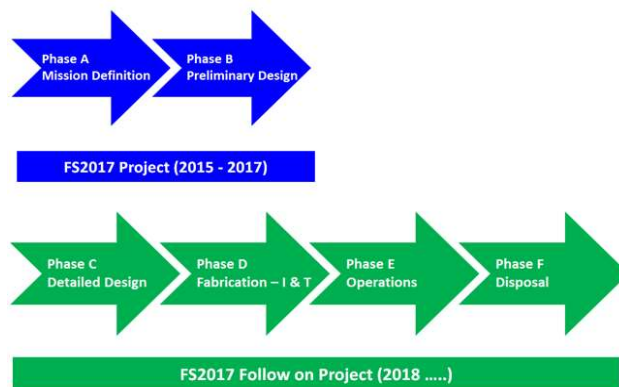


Figura 1: Proyecto y Misión 2017

El objetivo primario de la misión FS2017 es académico, esto es, la formación de los alumnos de la UFS en las áreas técnicas y programáticas de una misión satelital, según su especialidad [2]. Para satisfacer este objetivo, los estudiantes deben participar en todas las fases correspondientes al ciclo de vida de una misión espacial [3][4], desde la Fase A (estudio de factibilidad) hasta la Fase F (decomisionado). Para verificar este objetivo, los estudiantes deben aprobar todas las revisiones formales previstas en este tipo de misión/proyecto.

Los criterios de éxito de la misión [2], propuestos para satisfacer el objetivo primario, son (en orden de prioridad): (1) Familiarización de los maestrands con el ciclo de vida de un proyecto espacial; (2) Diseño, fabricación, integración y ensayos del satélite; (3) Campaña previa al lanzamiento; (4) Envío del satélite al espacio y actividades de comisionado; (5) Proceso, análisis, interpretación y difusión de los datos de la misión; (6) Entrenamiento de futuras cohortes durante la fase operativa de la misión.

1. INTRODUCCIÓN

A. Concepto de Misión

De acuerdo a estudios previamente realizados [2], la única opción que permite la realización de misiones del tipo de la FS2017 en un plazo de dos años y con las limitaciones de presupuesto propias del ambiente académico es la categoría de Pico o Nanosatélite (ver recuadro en línea punteada en la Figura 2).

Femtosatellite	Picosatellite	Nanosatellite	Microsatellite	Minisatellite
1 to 100 [gr]	0.1 to 1 [kg]	1 to 10 [kg]	10 to 100 [kg]	100 to 500 [kg]
1 to 10 [KUSD]	10 to 300 [KUSD]	0.1 to 10 [MUSD]	0.5 to 30 [MUSD]	5 to 300 [MUSD]

Figura 2: Categorías de Satélites

Dentro de esta categorización, se ha decidido usar específicamente el concepto CubeSat [5] (sombreado en rojo). Las ventajas de este concepto son: propósito educacional, múltiples oportunidades de lanzamiento con mínimo riesgo, amplia disponibilidad de proveedores de componentes, corto tiempo de desarrollo y baja relación costo-beneficio. Para poder cumplir con los objetivos de misión, se han definido dos instrumentos o cargas útiles: (1) una cámara que calificará el detector usado en las cámaras NIR-SWIR (Near/Short-Wavelength InfraRed) [6] de los satélites SABIA-Mar [7] de CONAE y (2) un sistema de colecta de datos -DCS [8]- que podrá adquirir datos provenientes de estaciones en tierra, permitiendo proveer servicios a instituciones que necesitan recabar información desde áreas remotas del país.

B. Organización del Proyecto

El proyecto FS2017 presenta cuatro ramas: plataforma, instrumentos, aplicaciones y soft-

ware. Cada una de ellas define su propio organigrama y en su conjunto reportan al Project Manager de la misión [2]. Con el objetivo de tratar temas transversales a las distintas áreas/maestrías se han definido grupos específicos de trabajo a nivel misión para resolver cuestiones de gestión de proyectos, calidad, ingeniería de sistemas e integración y ensayos.

C. Metodología de Desarrollo de Software

El modelo de desarrollo utilizado para el proyecto FS2017 es el *iterativo incremental* [9]. La metodología seleccionada para el desarrollo de los incrementos es *Scrum* [10][11]. La razón principal de dichas elecciones radica en la distribución horaria de las actividades del proyecto FS2017 en el calendario de la MDIAE [12]. Los períodos pre-asignados al proyecto son alternados y breves, motivo más que suficiente para pensar en *sprints* cortos, con objetivos claros, reuniones breves y eficientes, como la mejor forma de trabajo para el equipo de SW.

2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Este trabajo trata sobre el análisis, diseño, desarrollo, testing y operación del SW requerido para una misión espacial [13][14][15][16], la FS2017. El producto SW se ha dividido en 2 grandes áreas [17]: SW del segmento Terreno (inciso A) y SW del segmento de vuelo (inciso B).

A. Software del Segmento Terreno

El SW del segmento terreno tiene como objetivo permitir la operación y el mantenimiento del estado de salud del satélite FS2017, pero con los atributos de generalidad para que sea aplicable a futuras misiones. Dentro de las funcionalidades principales se encuentra la bajada y análisis de telemetría (TM), la subida de telecomandos (TC), procesamiento y publicación de los datos de ciencia. A tal fin se desarrolló un SW multimisión [17] que sirve de soporte a las tareas de operación del satélite con un alto nivel de flexibilidad y robustez.

La arquitectura del segmento terreno se presenta en la figura 3. Las principales funciones que debe cumplir son:

- **Mantenimiento del estado de salud:**
 - Visualización de TM en tiempo real e histórica
 - Análisis de tendencia.
 - Alarmas, Proced. y acciones de contingencia.
- **Planificación y ejecución de adquisiciones:**
 - Creación de scripts de comandos.
 - Calendarización de actividades de pasadas.
 - Subida de comandos y revisión de ejecución.
 - Generación de productos orbitales.
 - Pasadas planificadas.
 - Eclipses.
- **Descarga, procesamiento y publicación de datos ciencia:**
 - Bajada de datos, publicación vía portales y servicios web.

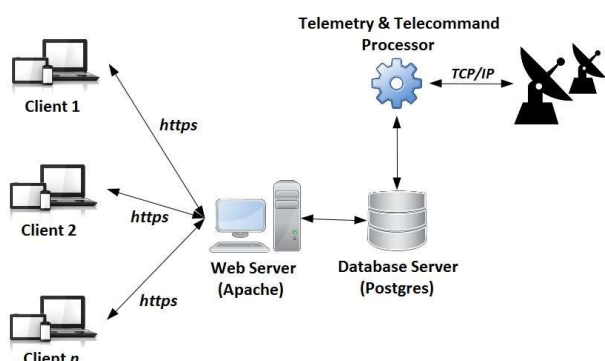


Figura 3: Arquitectura del SW del segmento Terreno

El sistema está montado sobre una arquitectura cliente-servidor clásica y fue desarrollado en Python sobre el framework Django [18]. El lenguaje es de tipo dinámico, el framework fuerza el uso del paradigma orientado a objetos y un diseño del tipo Model-Driven Architecture (MDA). El motor de la base de datos es PostgreSQL 9 y el acceso a los datos por parte de las aplicaciones se realizó en su totalidad mediante el ORM (Object-Relational Mapper) disponible en el framework. Los servicios 7x24 (Decodificación de TM y codificación de comandos) hacen uso parcial del framework utilizando únicamente el ORM integrado. La aplicación es hosteada sobre apache en sistema operativo Linux Ubuntu 15.10.

El sistema es una alternativa a otros desarrollos ad-hoc ofreciendo una variante multiplataforma y multimisión que maximiza los atributos de:

- **Interoperabilidad:** Acceso estándar, común y centralizado para aplicaciones del dominio.
- **Eficiencia:** Optimización del espacio de almacenamiento, optimización de las capacidades de búsqueda y recuperación.

- **Accesibilidad/Disponibilidad:** Acceso a los datos desde cualquier punto de la red en cualquier momento. Acceso desde diferentes contextos, aplicaciones y medios, volviéndolos útiles a un mayor número de usuarios.
- **Integridad:** Modelo de datos referencial, control de integridad, trazabilidad y coherencia de datos.
- **Seguridad:** Accesos controlados por el SGDB.
- **Recuperación:** Copias de seguridad diferenciales automatizadas. Recuperación de datos.

Dentro del esquema cliente/servidor el SW del segmento terreno aplica sólo dos capas, donde las aplicaciones se conectan directamente al RDBMS con la única excepción de los servicios de descarga de datos ciencia, los cuales pueden ser utilizados por otras aplicaciones derivando en un modelo de 3 capas. Esto último excede el alcance del proyecto en su fase académica.

B. Software del segmento de Vuelo

El SW de segmento de vuelo [17] se encarga de la recolección de HouseKeeping (HK) de los distintos subsistemas que componen al segmento de vuelo y su transmisión al segmento terreno para el monitoreo del estado de salud del satélite. Por otro lado, se encarga de la recepción, procesamiento y ejecución de tele-comandos provenientes del segmento terreno, que tienen la finalidad de operar el satélite. Este SW se ejecuta sobre un sistema de tiempo real (FreeRTOS, ANSI C), debido al estricto control y ejecución en tiempo y forma de sus rutinas.

La figura 4 presenta el diagrama de arquitectura del SW del segmento de vuelo. En ella pueden apreciarse sus principales sistemas y bloques internos: el Multi-Mission Platform (MMP) y el Payload, detallados a continuación.

- **MMP:** Attitude Determination Control System (ADCS), Command and Data Handling (C&DH), Telemetry, Telecommand and Control (TT&C) y Electric Power Subsystem (EPS).
- **Payload:** Cámara, Payload Onboard Computer (POBC) y Data Collector System (DCS).

Se considera que los módulos de SW que tendrán modificaciones sobre su SW por defecto se corresponden a los subsistemas C&DH y POBC. Dentro del SW de C&DH se realizan la mayoría de las actividades de control y operación del satélite. Las principales funciones son:

- **Procesamiento y ejecución de telecomandos:** de TC provenientes del segmento terreno.
- **Procesamiento de HK:** recolección de HK de los diferentes subsistemas.
- **Procesamiento de Telemetría:** construcción de frames de TM para enviar al segmento terreno.
- **FDIR:** detección, aislamiento y recuperación ante fallas.

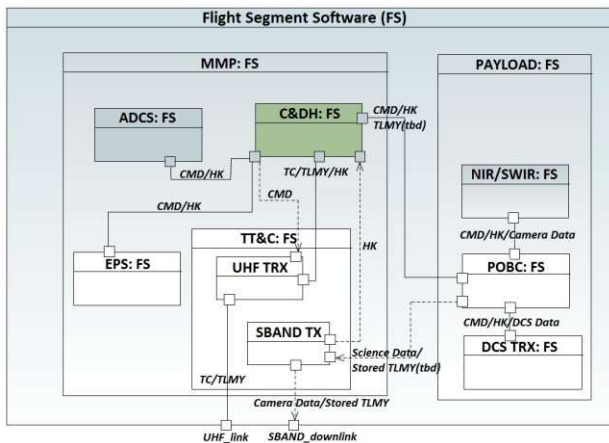


Figura 4: Arquitectura del SW del segmento de Vuelo

El SW de Payload es el responsable de la gestión de instrumentos y de la adquisición de datos de ciencia. Sus principales funciones son:

- **Gestor de comandos:** recibe y ejecuta los comandos provenientes de C&DH.
- **Gestor de Cámara NIR-SWIR:** gestiona las adquisiciones de imágenes en las áreas de interés.
- **Gestor de DCS:** gestiona las adquisiciones del DCS desde las DCP (Data Collection Platform).

3. RESULTADOS OBTENIDOS

La misión FS2017 ha permitido a los alumnos de las cuatro maestrías de la UFS abordar el desarrollo de un sistema satelital complejo con componentes de vuelo y de tierra. Esto plantea un desafío a nivel de desarrollo de SW cuya ejecución ha requerido una organización, una metodología y una aproximación técnica específica para el área espacial [2][3][4]. En relación a los hitos programáticos, se ha superado el PMSR (Preliminary Mission & System Review) y se están desarrollando las actividades en miras al hito de fin de la fase B: el PDR (Preliminary Design Review).

Respecto a la ingeniería de SW del proyecto, al día de hoy se ha implementado exitosamente

una versión inicial del SW del Segmento Terreno multimisión incluyendo módulos de bajada, decodificación, almacenamiento y visualización de telemetría (histórica y tiempo real). Se han desarrollado también productos soporte de dinámica orbital y publicación de datos ciencia. En todos los casos, se han utilizado técnicas y herramientas de desarrollo de uso extendido y propósito general. En relación al SW del segmento de vuelo, se ha realizado un diseño detallado de la arquitectura del sistema, contemplando sus funciones y requerimientos, y se han realizado pruebas iniciales y actividades de preparación de entorno. La figura 5 muestra el CubeSat en el laboratorio de la UFS.



Figura 5: Satélite FS2017 en el laboratorio de la UFS

Hasta el momento, el proyecto ha cumplido los objetivos, lo que permite concluir que una misión como la FS2017 es adecuada para la capacitación en ciencia y tecnología espacial.

4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

A. Organización del Equipo de Software

La organización del equipo de SW [12] se detalla en la figura 6. En ella se observan las dos áreas principales: (1) SW del segmento de vuelo, (2) SW del segmento terreno.

El equipo de segmento de vuelo está subdividido en 3 áreas de trabajo: (i) CD&H SW, (ii) ADCS SW, (iii) POBC SW. El equipo de segmento terreno está subdividido en 4 áreas de trabajo: (i) Mission Unit SW, (ii) Control Unit SW, (iii) Orbit Dynamics SW, (iv) Ground Station SW. Ambos equipos tienen bajo su responsabilidad el análisis, diseño, desarrollo, testing unitarios y despliegue en producción del SW del segmento correspondiente. Además, se cuenta con tres áreas transversales: (a) Integration & Testing, (b) Models & Simulations, y (c) Assurance & Configuration Management.

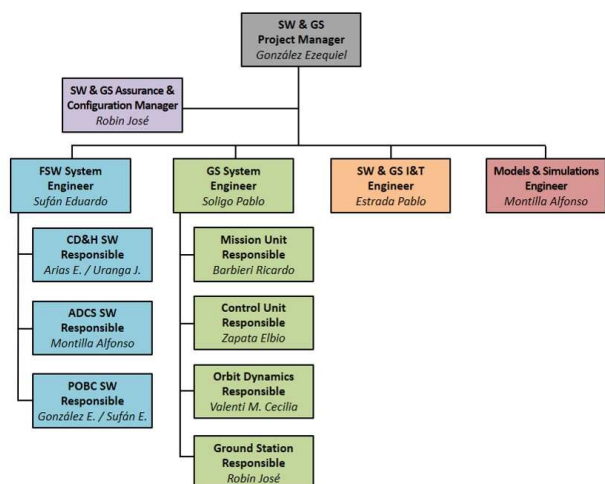


Figura 6: Organigramma del Equipo de Software

La figura 7 presenta al equipo de SW del FS2017 en las instalaciones de la UFS, ubicada en el Centro Espacial Teófilo Tabanera, Córdoba.



Figura 7: Equipo de SW del FS2017 en el CETT

B. Tesis de Maestría del Equipo (en curso)

Las tesis de los maestrandos de la MDIAE son:

- Arias, E. “Diseño de una Arquitectura de Aviónica tolerante a fallas basada en componentes COTS para vehículos satelitales de nueva generación”.
- Barbieri, R. “Sistema de Soporte de decisión espacial de Leishmaniasis operacional en Argentina basado en tecnología geoespacial”.
- Estrada, P. “Sistema Automatizado para la Colocalización de datos intersatelitales y mediciones de campo”.
- González, E. “Diseño de una Arquitectura Satelital Segmentada basada en Sistemas Multi-agente para la Gestión de Emergencias”.
- Montilla, A. “Uso de técnicas de Computer Vision para la detección en vuelo de focos de calor en imágenes satelitales”.
- Robin, J. “Diseño de una Arquitectura de Software orientada al desarrollo de un sistema informático para el control de una Antena Satelital”.
- Soligo, P. “Análisis y Simulación de Redes DTN aplicadas a Constelaciones Satelitales”.
- Sufán, E. “Diseño, Implementación y Verificación de un Procesador L1 Time Domain Back Projection para Imágenes de SAR Aerotransportado”.
- Uranga, J. “Implementación Paralela en GP-GPU Portable del Algoritmo Omega-K para enfoque SAR”.
- Valenti, M. C. “ARxCODE, Prototipo de Software para el análisis de riesgo por Colisión con Desechos Espaciales”.
- Zapata, E. “Detección de Patrones en Micro-Nano Satélites utilizando metodologías de Visión Artificial”.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] CONAE (2010). *Plan Espacial Nacional Argentina en el espacio 2004-2015*.
- [2] CONAE (2016). *FS2017 Project Implementation Plan (FS-410000-PL-00100-A)*.
- [3] ECSS (2009). *Project Planning and Implementation (ECSS-M-ST-10C Rev.1)*.
- [4] ECSS (2017). *System Engineering General Requirements (ECSS-E-ST-10C Rev.1)*.
- [5] The CubeSat Program, Cal Poly SLO (2014). *CubeSat Design Specification (CDS) Rev. 13*.
- [6] CONAE (2016). *FS2017 Parámetros Relevantes de la Cámara NIR-SWIR (SA-150100-LA-00100-A)*.
- [7] CONAE (27 de marzo de 2017). Misión SABIA-Mar. Recuperado de <http://www.conae.gov.ar/index.php/espanol/misiones-satelitales/sabiamar/objetivos>.
- [8] CONAE (2016). *FS2017 DCS - Selección de Dispositivos*.
- [9] Alexander, L. & Davis, A. (1991). Criteria for Selecting Software Process Models. En *Proc. 15th COMPSAC*, pp. 521-528.
- [10] Schwaber, K. (2004). *Agile Project Management with Scrum*. Redmond, WA, U.S.: Microsoft Press.
- [11] Trimble, J. & Webster, C. (2012). Agile development methods for space operations. En *SpaceOps 2012 Conf.*
- [12] CONAE (2016). *FS2017 Software Project Management Plan (FS-210100-GS-00100-A)*.
- [13] ECSS (2009). *Software (ECSS-E-ST-40C)*.
- [14] ECSS (2013). *Software Engineering Handbook (ECSS-E-HB-40A)*.
- [15] ECSS (2008). *Ground Systems and Operations (ECSS-E-ST-70C)*.
- [16] ECSS (2009). *Software Product Assurance (ECSS-Q-ST-80C)*.
- [17] CONAE (2016). *FS2017 Software Concept Document (FS-230000-SP-00100-A)*.
- [18] Django Software Foundation (2017). *Django Documentation (Release 1.10.7.dev.20170317114851)*. Recuperado de <https://docs.djangoproject.com/en/1.10>.